

**Zbigniew Ustrnul\*, Agnieszka Wypych\*\***

**EKSTREMALNE WARTOŚCI TEMPERATURY POWIETRZA  
W POLSCE W ŚWIELE RÓŻNYCH KLASYFIKACJI  
TYPÓW CYRKULACJI**

**Extreme air temperature values in Poland according  
to different atmospheric circulation classifications**

**Summary.** The principal goal of the study was to determine circulation types with respect to the occurrence of extreme values of air temperature in Poland. A comparison between different available classifications was also performed. Maximum and minimum daily temperatures for the 56-year study period (1951–2006) obtained from 54 weather stations were used. Detailed calculations were performed for the summer (June–August) and winter (December–February) seasons. Extreme values were selected with respect to probability distribution bases. The study showed that circulation types with an anticyclonic ridge were the most important for extremely hot days in the summer, while extremely low temperatures in the winter were usually associated with anticyclonic types with an easterly airflow. A special effort was made to identify the classification scheme yielding the best accuracy in evaluating extremes.

**Słowa kluczowe:** temperatura powietrza, wartości ekstremalne, typy cyrkulacji, klasyfikacje subiektywne i obiektywne

**Key words:** air temperature extremes, circulation types, subjective and objective classification

**WSTĘP**

Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, przede wszystkim dzięki szeroko rozbudowanym systemom teledetekcyjnym i telekomunikacyjnym, stały się w ostatnich latach przedmiotem szczególnego zainteresowania naukowców, głównie meteorologów i klimatologów. Niestety pomimo istnienia wielu wyra-

---

\* Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, ul. Piotra Borowego 14, 30–215 Kraków, e-mail: zbigniew.ustrnul@imgw.pl

\*\* Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Klimatologii, 30–387 Kraków, ul. Gronostajowa 7, e-mail: agnieszka.wypych@uj.edu.pl

finowanych metod prognozowania, ich przewidywanie nadal nie jest łatwe, one same zaś stanowią zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi oraz powodują ogromne straty materialne.

Meteorologiczne zjawiska ekstremalne są tematem licznych projektów badawczych, a co za tym idzie, poważnych publikacji naukowych, w których autorzy podejmują próbę odpowiedzi na pytania związane z występowaniem, trendami i prognozą ekstremów (m.in., Karl, Easterling 1999, Klein Tank, Können 2003). W wielu opracowaniach jest podkreślana rola czynnika cyrkulacyjnego jako warunkującego w znacznym stopniu występowanie określonych zjawisk i w sprzyjających warunkach osiąganie przez elementy meteorologiczne wartości ekstremalnych (Huth i in. 2008, Ustrnul 2000, Ustrnul, Czekierda 2009).

Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu cyrkulacji atmosferycznej, opisanej przez poszczególne typy cyrkulacji, na występowanie ekstremalnych wartości temperatury powietrza w Polsce. Podjęto także próbę oceny przydatności wybranych klasyfikacji typów cyrkulacji do analizy ekstremalnych warunków termicznych.

## MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY I METODY

W opracowaniu wykorzystano materiał źródłowy z wielolecia 1951–2006, obejmujący dobowe wartości temperatury powietrza oraz wybrane kalendarze typów cyrkulacji stosowane w Europie Środkowej, a zwłaszcza w Polsce. Posłużono się codziennymi wartościami ekstremalnymi temperatury, tzn. maksymalnymi i minimalnymi, z 54 stacji synoptycznych względnie równomiernie rozmieszczonych na obszarze Polski. Taka rozdzielczość przestrzenna danych umożliwiła szczegółową analizę zróżnicowania występowania ekstremów termicznych w skali mezosynoptycznej. Do analizy synoptycznej wykorzystano, biorąc pod uwagę dostępność poszczególnych typologii i ich zastosowanie dla obszaru całego kraju, 6 różnych kalendarzy typów cyrkulacji: Grosswetterlagen – GWL (Gerstengarbe i in. 1999), obiektywną postać kalendarza GWL autorstwa Jamesa – GWL-O (James 2007), kalendarz Lityńskiego – LIT (Lityński 1969, Pianko-Kluczyńska 2007) oraz Osuchowskiej-Klein – OSK (Osuchowska-Klein 1978), a także Niedźwiedzia – TN (Niedźwiedź 1981, 2010) i Ustrnula – ZU (Ustrnul 1997). Dwie pierwsze typologie zostały uwzględnione z uwagi na powszechność ich zastosowania w Europie, a co za tym idzie możliwość odniesienia wyników do innych badań prowadzonych na świecie, klasyfikacje Lityńskiego oraz Osuchowskiej-Klein z racji ich częstego stosowania w pracach polskich autorów, ostatnie proponowane kalendarze (TN, ZU) ze względu na ich sprawdzoną przydatność w badaniach dotyczących Polski Południowej. Wszystkie powyższe klasyfikacje zostały zaktualizowane do 2006 roku włącz-

nie. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż trzy z wymienionych klasyfikacji są typologiami subiektywnymi (GWL, OSK, TN), podczas gdy w pozostałych (GWL-O, LIT, ZU) typy cyrkulacji wyróżniane są w sposób obiektywny, zautomatyzowany. Ponadto wykorzystane kalendarze różnią się liczbą wydzielonych klas (GWL – 30, GWL-O – 29, LIT – 27, OSK – 14, TN – 21, ZU – 18), co stanowi dodatkowy problem pojawiający się przy ocenie uzyskanych wyników.

W pierwszym etapie pracy skupiono się na doborze właściwego kryterium wydzielania ekstremów. Zagadnienie to stanowi odrębny problem badawczy, któremu poświęcono wiele uwagi w pracach autorów zarówno polskich, jak i zagranicznych. Spośród wielu metod wybrano podejście probabilistyczne, jako najbardziej zasadne i powszechnie stosowane w analizach przestrzennych, gdy badany obszar jest zróżnicowany pod względem klimatycznym. Kryterium probabilistyczne jest również rekomendowane przez zespół badawczy European Climate Assessment & Dataset oraz IPCC (2001). W wyniku szczegółowej analizy dostępnego materiału źródłowego, ze względu na charakter danych (dane dobowe) wprowadzono dość ostre kryteria wyróżniania ekstremów, uwzględniające, oprócz sugerowanych w trzecim raporcie IPCC 10%, także 5%, 1% oraz 0,1% (odpowiednio 10 i 90, 5 i 95, 1 i 99 percentyl oraz 0,1 i 99,9 percentyl).

W pracy skupiono się na najbardziej interesujących ekstremach termicznych, analizując częstość występowania przypadków najwyższej temperatury maksymalnej w lecie (czerwiec-sierpień) oraz najniższej temperatury minimalnej w zimie (grudzień-luty). Wyróżnione przypadki poddano dalszej analizie. Zbadano częstość ich występowania w typach cyrkulacji w świetle różnych klasyfikacji i w rezultacie wyodrębniono sytuacje synoptyczne szczególnie sprzyjające pojawianiu się ekstremów termicznych.

W końcowym etapie podjęto próbę oceny przydatności wybranych typologii do charakterystyki warunków termicznych. Jak już wspomniano, wykorzystane kalendarze typów cyrkulacji różnią się między sobą ze względu na wydzieloną liczbę klas, jak i samą metodę klasyfikacji. Dlatego też jakakolwiek ewaluacja użyteczności poszczególnych klasyfikacji powinna opierać się na wnikliwie dobranych kryteriach oceny. Zdaniem wielu badaczy za najodpowiedniejsze należy uznać te typologie, które odznaczają się najmniejszym stopniem rozproszenia elementów wewnątrz klas (Kalkstein i in. 1987, Ustrnul i in. 2010). Szczegółowa analiza i przeprowadzone testy pozwoliły na skonstruowanie wskaźnika wyliczanego według wzoru:

$$\text{WSD}(ZU) = \frac{\sum_{i=1}^k s_{d_i} n_i}{\sum n_i} \quad (1)$$

gdzie:  $k$  – liczba klas (typów cyrkulacji),  $n_i$  – liczba przypadków w obrębie danej klasy,  $s_{d_i}$  – odchylenie standardowe w obrębie danej klasy.

Zadaniem wskaźnika jest ilościowa ocena przydatności danej klasyfikacji do charakterystyki wybranego elementu z uwzględnieniem dyspersji wewnątrz klas (odchylenie standardowe) oraz częstości występowania omawianego elementu w danych warunkach synoptycznych. Badana typologia tym lepiej opisuje wpływ cyrkulacji atmosferycznej, im mniejsza jest wartość wskaźnika.

## WYNIKI

Zróznicowanie przestrzenne ekstremów termicznych w Polsce odznacza się wyraźną sezonowością.

Latem wartości absolutne temperatury maksymalnej sięgają na większości obszaru Polski 36–38°C. Najniższe progi ekstremów letnich, wyznaczone za pomocą 95 percentyla, występują w północnej Polsce. Na stacjach nadmorskich wartości wynoszą około 27°C, najwyższe zaś, nieznacznie przekraczające 30°C, są charakterystyczne dla środkowej części kraju. Warto zwrócić uwagę na znaczne różnice (> 9°C) między wartościami progowymi a temperaturą maksymalną absolutną zanotowaną na stacjach w regionie północno-zachodnim. Wyraźnie wskazuje to na ochładzający wpływ Bałtyku, powodujący obniżenie wartości temperatury maksymalnej. Dlatego też zanotowane absolutne ekstrema są wartościami wyjątkowo „odstającymi”. W pozostałej części kraju omawiane różnice są mniejsze, aż do około 5°C na południo-wschodzie kraju.

Zanotowane maksima absolutne zdarzyły się w różnych typach cyrkulacji, jednak w większości przypadków dominował wówczas układ wyżowy bez wyraźnej adwekcji lub też ze spływem powietrza z sektora południowego. Na uwagę zasługuje fakt, że w poszczególnych regionach Polski maksima te wystąpiły przy tym samym typie cyrkulacji, często także w tym samym dniu.

Występowanie ekstremalnych minimów temperatury zimą charakteryzuje się znacznie większym zróżnicowaniem przestrzennym. We wschodniej części kraju zaznacza się wyraźnie kontynentalizm termiczny. Minima absolutne sięgają –35°C i są niższe niż na stacjach wysokogórskich, a zbliżone do tych notowanych w kotlinach, progi 5 percentyla (ekstremalne minima zimowe) wynoszą średnio –19°C, podczas gdy na pozostałym obszarze kraju niespełna –15°C i około –10°C na wybrzeżu. Ekstremalnie niskie wartości temperatury zimą są związane głównie z obecnością układów wyżowych z napływem powietrza z sektora wschodniego.

Szczegółowa analiza wpływu cyrkulacji atmosferycznej na występowanie ekstremów termicznych została przeprowadzona także w odniesieniu do przypadków wyróżnionych na podstawie najostrzejszego kryterium 0,1%. W ciągu badanego okresu wyodrębniono łącznie 540 takich dni – z każdej stacji po 5 dni z najniższą temperaturą zimą i 5 dni z najwyższą temperaturą latem. Każdy

dzień został scharakteryzowany przez wszystkie uwzględnione w opracowaniu klasyfikacje typów cyrkulacji. Omawiane przypadki zestawiono w tabeli 1, z zastrzeżeniem, że prezentuje ona wyłącznie daty, gdy ekstremalna wartość temperatury powietrza ( $T_{\max} > 99,9$  percentyla,  $T_{\min} < 0,1$  percentyla) wystąpiła na co najmniej 20% uwzględnionych stacji, czyli w ponad 11 punktach pomiarowych. Dniom z najwyższymi ekstremami termicznymi towarzyszyły głównie typy antycyklonalne: centrum wyżu lub klin wyżowy, jak również adwekcja powietrza z południa lub południo-zachodu. Spośród uwzględnionych klasyfikacji jedynie OSK, GWL oraz GWL-O wskazywały na odmienne warunki cyrkulacyjne (tab. 1).

**Tabela 1.** Daty, kiedy temperatura maksymalna w lecie (VI-VIII) oraz temperatura minimalna w zimie (XII-II) przekroczyła wartość występującą z prawdopodobieństwem  $p = 0,1\%$  na ponad 20% stacji

**Table 1.** Dates when the maximum air temperature in summer (June – August) and minimum air temperature in winter (December-February) exceeded the value with the probability  $p = 0.1\%$  at over 20% stations

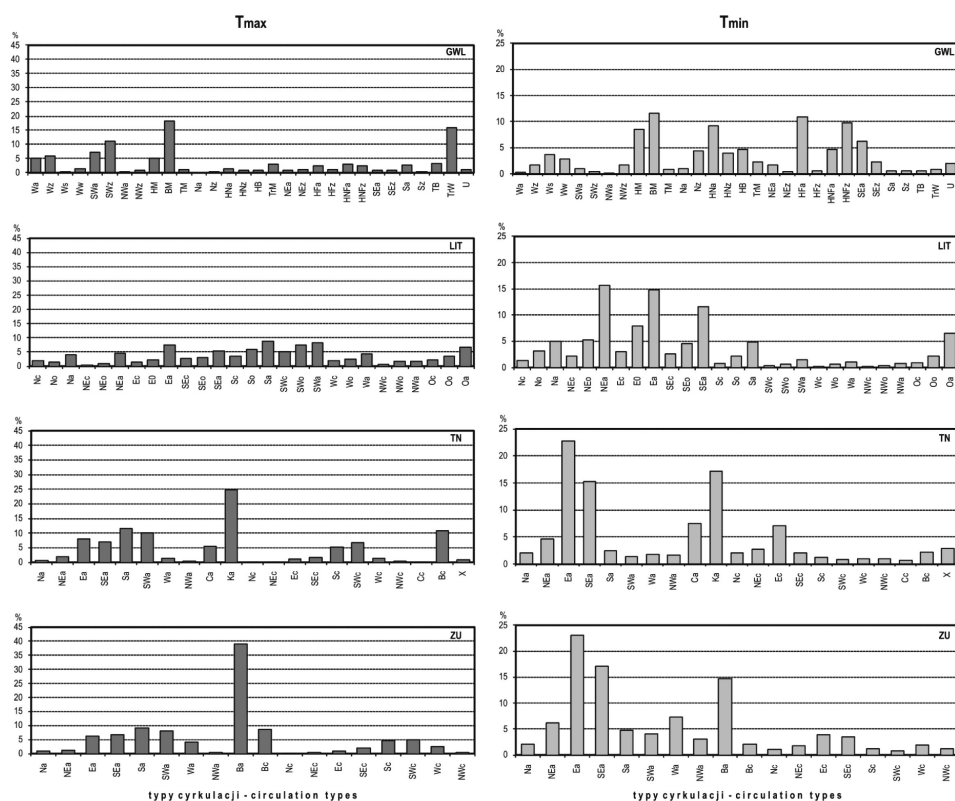
Data	% stacji	GWL	GWL-O	LIT	OS-K	TN	ZU
$T_{\max}$							
10-08–1992	64	TrW	SWa	SWc	BE	Sc	SWc
31-07–1994	51	Sa	Sa	SEo	X	Ka	Ba
01-08–1994	46	Sa	Sa	SEo	X	Ka	Bc
29-08–1992	39	SWz	SWz	SWc	D	SWc	SWc
30-07–1994	30	Sa	Sa	SEa	E	Ka	Ba
09-08–1992	26	TrW	SWa	Sa	BE	Sa	Sa
11-07–1959	23	TrW	TrW	Oo	X	Ca	Ba
12-07–1959	20	TrW	TrW	Sc	D	Ka	Bc
$T_{\min}$							
09-02–1956	43	HNFa	NEa	NEa	E	Ea	Ea
19-01–1963	41	HNa	HNFa	NEa	E2C	SEa	SEa
01-02–1956	40	HFa	NEa	NEa	E	Ea	Ea
14-01–1987	38	HNFz	HNFz	Ea	E	Ka	Ea
08-01–1987	26	Nz	NEz	NEa	G	Ka	Wa
31-01–1956	25	HFa	HFa	NEa	E	Ea	Ea
30-01–1987	21	BM	HNa	Oa	G	Ca	Wa
20-01–1963	20	HNa	HNFa	NEa	E	Ka	Ea

Według typologii Osuchowskiej-Klein przypadki skrajnie wysokiej temperatury powietrza były notowane w sytuacjach nieokreślonych (X), co zostało już wcześniej opisane w literaturze (Ustrnul 2000, Wibig, Głowicki 2002). Natomiast, co w pierwszej chwili może się wydać zaskakujące, zarówno według klasyfikacji GWL jak i jej odpowiednika obiektywnego GWL-O, w dniach tych nad Europą Zachodnią zaobserwowano bruzdę cyklonalną (TrW). Bliższa analiza map synoptycznych wskazuje jednak, że nad Polską zalegał wówczas klin wyżowy. Zdecydowanie więcej istotnych różnic jest widocznych w dniach z najniższymi ekstremami termicznymi. Według większości typologii skrajnie niskie wartości temperatury są notowane w Polsce, gdy ma miejsce adwekcja powietrza z sektora wschodniego. Jednakże klasyfikacja GWL, a zwłaszcza GWL-O, podaje w tych dniach odmienne typy cyrkulacji, co więcej – w niektórych przypadkach dają się zauważyć wyraźne różnice między subiektywną i obiektywną klasyfikacją Grosswetterlagen (tab. 1).

W kolejnym etapie zwrócono uwagę na częstość występowania ekstremów w poszczególnych typach cyrkulacji. Wzięto po uwagę tylko 4 klasyfikacje: makroskalową Grosswetterlagen, obiektywną dla Polski Lityńskiego oraz dwie mezoskalowe – Niedźwiedzia i Ustrnula. Ze względów metodycznych postanowiono nie włączać do analizy typologii Osuchowskiej-Klein. Rozpatrzono łącznie wszystkie przypadki ekstremów na omawianych stacjach (tzw. stacjonni). Zbadano częstość występowania najwyższych wartości temperatury maksymalnej latem i najniższych minimalnej zimą (progi 5%, 1% i 0,1%) w typach cyrkulacji według wybranych kalendarzy. Jak widać na wybranych przykładach (ryc. 1), rozkłady częstości różnią się sezonowo zarówno w typach w obrębie jednej klasyfikacji, jak i między klasyfikacjami.

W przypadku ekstremów letnich (ryc. 1) najmniejsze różnice występują w typologii Lityńskiego. Liczba przypadków w poszczególnych klasach nie przekracza 10%, co oznacza, że najwyższe wartości temperatury mogą wystąpić ze względnie podobnym prawdopodobieństwem w prawie każdej sytuacji synoptycznej. Dlatego też klasyfikacja ta nie zawsze wskazuje wyraźnie sytuacje odpowiedzialne za pojawianie się ekstremów. W pozostałych typologiach występowanie przypadków ekstremalnych związane jest z jedną, najwyżej dwiema klasami. W przypadku GWL są to klin wyżowy nad Europą Środkową (BM) oraz bruzda nad Europą Zachodnią (TrW), według GWL-O odpowiednio są to sytuacje: klin wyżowy nad Europą Środkową, południowo-zachodnia antycyklonalna (SWa) oraz BM. Klasyfikacje Niedźwiedzia i Ustrnula wskazują na największą częstość występowania ekstremów letnich w sytuacjach klina antycyklonalnego nad Polską (ryc. 1).

Zdecydowanie bardziej skomplikowany obraz prezentuje częstość występowania ekstremów zimowych (ryc. 1). W przypadku wszystkich typologii z podobnym prawdopodobieństwem można się ich spodziewać w kilku typach



**Ryc. 1.** Częstość temperatury maksymalnej w lecie (VI-VIII) i minimalnej w zimie (XII-II) o prawdopodobieństwie wystąpienia poniżej 5% w poszczególnych typach cyrkulacji i klasyfikacjach

**Fig. 1.** Frequency of the maximum air temperature in summer (June-August) and minimum air temperature in winter (December-February) with the occurrence probability below 5 percent in the particular circulation types and classifications

sytuacji synoptycznych. Są to głównie typy bezadwekcyjne, antycyklonalne lub sytuacje odznaczające się wpływem mas powietrza z sektora wschodniego.

Pomimo wnikliwej, opisanej wyżej, analizy zarówno poszczególnych przypadków ekstremalnych, jak i częstości ich występowania w typach cyrkulacji nadal bez odpowiedzi pozostaje pytanie, która z wykorzystanych klasyfikacji najlepiej wyjaśnia występowanie ekstremów termicznych. Jak wspomniano wcześniej, wydaje się, że najbardziej odpowiednia jest typologia, w której przypadki ekstremalne koncentrują się w obrębie wybranych klas. Innymi słowy, im wyniki odznaczają się większym rozproszeniem, tym trudniej wyjaśnić uwarunkowania cyrkulacyjne występowania ekstremów termicznych. Oczywisty jest jednak fakt, że liczba typów w obrębie klasyfikacji wpływa w zdecydowany sposób na stopień rozproszenia wyników. Dlatego też w celu obiektywizacji oceny

przydatności poszczególnych typologii skonstruowano wskaźnik (WSD), w którym rozproszenie w obrębie klas jest opisane przez odchylenie standardowe, liczba przypadków w klasach zaś nadaje im odpowiednią wagę.

W przypadku najniższej temperatury minimalnej zimą wskaźnik WSD osiąga w zależności od typologii wartości od 3,5 do 4,0, a najwyższej temperatury maksymalnej latem zdecydowanie niższe i mniej zróżnicowane między klasyfikacjami (2,3–2,4). Najwyższe wartości wskaźnika zarówno dotyczące lata, jak i zimy uzyskano w przypadku klasyfikacji Lityńskiego, co potwierdza uzyskane wcześniej wyniki (Ustrnul i in. 2010), najniższe zaś odpowiednio w przypadku TN, ZU, GWL i GWL-O.

## WNIOSKI

Zagadnienie ekstremów termicznych, pomimo iż dotychczas stosunkowo wnikliwie zbadane i opisane, jest nadal tematem istotnym zarówno w aspekcie metodycznym (np. kryteria wydzielania przypadków ekstremalnych), jak i poznania genezy ich występowania. Cyrkulacja atmosferyczna odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu warunków termicznych w skali mezosynoptycznej, tym samym także wpływa na częstość występowania przypadków o skrajnie wysokich lub niskich wartościach temperatury powietrza. Zastosowane w opracowaniu podejście probabilistyczne ich wydzielania (metoda percentyli) wydaje się być efektywne i względnie obiektywne, zwłaszcza w przypadku gdy analiza dotyczy obszaru o zróżnicowanych warunkach klimatycznych.

Niezależnie od przyjętego kalendarza typów cyrkulacji, należy stwierdzić, że najwyższe wartości temperatury powietrza występują w typach wyżowych bez wyraźnej adwekcji powietrza. Nad Polską występuje wtedy często rozmyte pole ciśnienia atmosferycznego. Dominujące znaczenie dla występowania minimum temperatury mają sytuacje wyżowe z napływem powietrza z sektora wschodniego. Wyjątki od przedstawionych prawidłowości wynikają głównie z niedoskonałości oceny sytuacji synoptycznych. Przyczynia się do tego złożona ich istota, której nie sposób w pełni sparametryzować. Dotyczy to m.in. typu masy powietrza, stanu warstwy czynnej, dynamiki ruchów powietrza itp.

Zaproponowany wskaźnik wydaje się być dobrym narzędziem oceny klasyfikacji typów cyrkulacji. Jego przydatność musi być jednak zweryfikowana na znacznie bogatszym materiale badawczym. Należy również stwierdzić, że pełna i obiektywna ocena typologii cyrkulacji jest poważnym wyzwaniem i wymaga dalszych wieloaspektowych rozważań.



## Literatura

- Gerstengarbe F-W., Werner P.C., Rüge U., 1999, *Katalog der Grosswetterlagen Europas (1881–1998) nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky*. Potsdam, Offenbach.
- Huth R., Beck Ch., Philipp A., Demuzere M., Ustrnul Z., Cahynova M., Kysely J., Tveito O.E., 2008, *Classifications of Atmospheric Circulation Patterns – Recent advances and applications*. Ann. N.Y. Acad. Sci., 1146, 105–152.
- IPCC, 2001, *Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, ss. 881.
- James P.M., 2007, *An objective classification method for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen over Europe*. Theor. Appl. Climatol., 88, 17–42.
- Kalkstein L. S., Tan G., Skindlov J.A., 1987, *An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification*. Jour. Appl. Meteor., 26, 17–730.
- Karl T.R., Easterling D.R., 1999, *Climate extremes: Selected review and future research directions*. Climatic Change, 42 (1), 309–325.
- Klein Tank A.M.G., Können G.P., 2003, *Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99*. Jour. of Climate 16, 3665–3680.
- Lityński J., 1969, *Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski*. Prace PIHM, 97, 3–14.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*. Uniwersytet Jagielloński, Rozprawy habilitacyjne, 58, Kraków.
- Niedźwiedz T., 2010, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski Południowej – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.
- Osuchowska-Klein B., 1978, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*. WKiŁ, Warszawa.
- Pianko-Kluczyńska K., 2007, *Nowy kalendarz typów cyrkulacji atmosfery według J. Lityńskiego*. Wiad. Met.-Hydr., Gosp. Wod., 1, 4, 65–85.
- Ustrnul Z., 1997, *Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku*. Mat. Bad. IMGW, 27, seria Meteorologia.
- Ustrnul Z., 2000, *Synoptic-climatic structure of the extreme air thermal phenomena in Poland*. Geographia Polonica, 73, 2, 99–109.
- Ustrnul Z., Czekierda, 2009, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*. IMGW, Warszawa.
- Ustrnul Z., Czekierda D., Wypych A., 2010, *Extreme values of air temperature in Poland according to different atmospheric circulation classifications*. Physics and Chemistry of the Earth, 35, 429–436.
- Wibig J, Głowicki B, 2002, *Trends of minimum and maximum temperature in Poland*. Climate Res., 20, 123–133.